

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
Кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

Н.В. ИСМАГИЛОВ, Т.Р. АУХАДЕЕВ, В.Д. ТУДРИЙ

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Методические указания к лабораторным занятиям

Казань – 2018

Принято на заседании кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

Протокол № 11 от 28 февраля 2018 года

Рецензенты:

кандидат географических наук,
старший преподаватель кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ **М.В. Сабирова**

кандидат географических наук,
ассистент кафедры ландшафтной экологии КФУ **А.Г. Шарифуллин**

Исмагилов Н.В.

Исмагилов Н.В. Методы и средства гидрометеорологических измерений/ Н.В. Исмагилов, Т.Р. Аухадеев, В.Д. Тудрий. – Казань: Казан. ун-т, 2018. – 40 с.

Методические указания предназначены для студентов обучающихся по направлению "Гидрометеорология", может быть использовано для проведения лабораторных работ по курсу "Методы и средства гидрометеорологических измерений" направления. Содержат краткое изложение методов метеорологических измерений, принципов работы метеорологических приборов и практические задания по разделам: измерение температуры, влажности, давления воздуха, скорости и направления ветра, характеристик лучистой энергии.

© Исмагилов Н.В., Аухадеев Т.Р., Тудрий В. Д., 2018
© Казанский университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ	4
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШКАЛОВЫХ ПОПРАВOK И ПОВЕРКА ТОЧКИ НУЛЯ ЖИДКОСТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ	6
3. ТЕПЛОВАЯ ИНЕРЦИЯ ТЕРМОМЕТРОВ	8
4. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ	10
5. ТЕРМОГРАФ	12
6. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ	14
7. РАДИАЦИОННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ	15
8. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПО МЕТОДУ ТОЧКИ РОСЫ	16
9. ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ	18
10. ВОЛОСНЫЕ ГИГРОМЕТРЫ	20
11. РТУТНЫЕ БАРОМЕТРЫ	22
12. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ БАРОМЕТРЫ	23
13. РОТОАНЕМОМЕТРЫ	25
14. АНЕМОРУМБОМЕТРЫ	27
15. ИЗМЕРЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ	29
16. БАЛАНСОМЕР ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ	31
17. СНЕГОМЕР ВЕСОВОЙ	33
18. ДЕСАНТНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКТЫ	36
19. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	37
ЛИТЕРАТУРА	39

1. ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Точность измерений, т.е. степень приближения результата измерений к истинному значению измеряемой величины, принято характеризовать ошибкой (погрешностью).

Причины, в силу которых все результаты измерений оказываются приближенными, принято делить на три группы: систематические, случайные и грубые. Соответственно этому на три группы делят и ошибки измерений.

1. *Систематические ошибки* вызываются главным образом несовершенством приборов и методов измерений, неточностью регулировки и поверки приборов. Проявляются, как правило, в одностороннем влиянии второстепенных факторов на результаты измерений. Например, уменьшение объема резервуара жидкостного термометра приводит к завышению показаний данного термометра и, наоборот, увеличение объема резервуара вызывает их занижение.

Выявленные систематические ошибки могут быть устранены или учтены при обработке результатов измерений. Это достигается путем тщательного изучения и усовершенствования приборов или методов работы с ними, регулярного сравнения приборов с эталонами, что дает возможность либо ввести соответствующие поправки в результаты измерений, либо оценить максимально возможную систематическую ошибку результата измерений.

2. *Случайные ошибки* могут иметь место в результате тех сравнительно небольших неточностей, которые неизбежно допускаются как при установке приборов, так и при отсчетах по ним. Кроме того, к случайным ошибкам относят те, которые возникают в результате быстро протекающих колебаний разного рода величин, влияющих на показания прибора и не поддающихся достаточно точному учету.

Случайные ошибки подчиняются закону Гаусса, выражающему связь между величиной ошибки и ее вероятностью. Важным свойством случайных ошибок является независимость вероятности их появления от знака ошибки, т.е. если число измерений достаточно велико, то положительные и отрицательные случайные ошибки, равные по абсолютной величине, появляются одинаково часто. Поэтому, производя достаточно большое число отсчетов по прибору и используя в качестве окончательного среднее значение измеряемой величины, удастся до некоторой степени освободиться от искажающего влияния случайных ошибок.

Использование методов математической статистики позволяет определить доверительный интервал, в котором с заданной доверительной вероятностью заключено истинное значение измеряемой величины.

Обработка результатов ряда N равнозначных повторных измерений величины x выполняется в следующей последовательности.

Определяется среднее арифметическое значение \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1.1)$$

Определяется средняя квадратическая ошибка отдельного результата измерения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1.2)$$

Вычисляется средняя квадратическая ошибка среднего арифметического

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1.3)$$

Вычисляется предельная случайная ошибка измерения ε

$$\varepsilon = t_{\beta} \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (1.4)$$

где t_{β} - коэффициент Стьюдента, который зависит от выбранной доверительной вероятности β и числа измерений N : при $\beta = 0,95$ и $N=10$ $t_{\beta} = 2,26$.

Доверительный интервал, в котором с заданной доверительной вероятностью содержится истинное значение измеряемой величины x , определяется границами.

$$\bar{x} - \varepsilon < x < \bar{x} + \varepsilon \quad (1.5)$$

3. *Грубые ошибки (промахи)* вызываются недостаточной внимательностью при измерениях и приводят обычно к явно ошибочным результатам. Наиболее надежным методом исключения грубых ошибок является браковка подозрительных результатов измерений.

Задание 1. Статистическая обработка результатов измерений величин, подверженных влиянию случайных ошибок.

1). Провести 10-кратные измерения температуры воздуха в лаборатории ртутным термометром (интервал между измерениями - 15 секунд). Отсчеты производят два наблюдателя поочередно.

2). В отсчеты ввести шкаловые поправки, взятые из поверочного свидетельства.

3). Определить доверительный интервал, в котором с вероятностью $\beta = 0,95$ содержится истинное значение температуры воздуха.

Контрольные вопросы:

1. Каким образом учитываются систематические ошибки?
2. Могут ли быть устранены случайные ошибки?

Отчет должен содержать:

1. Краткую характеристику ошибок измерений.
2. Результаты обработки ряда наблюдений за температурой.
3. Ответы на контрольные вопросы.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШКАЛОВЫХ ПОПРАВОК И ПОВЕРКА ТОЧКИ НУЛЯ ЖИДКОСТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

Жидкостные термометры основаны на принципе изменения объема жидкости при изменении ее температуры. В качестве термометрической жидкости обычно применяется ртуть или спирт.

Жидкостные термометры состоят из четырех основных частей: стеклянного резервуара, припаянного к нему капилляра, шкалы и защитной стеклянной оправы.

Все термометры после изготовления сравниваются с образцовыми термометрами и снабжаются поверочными свидетельствами, в которых указываются их шкаловые поправки, соответствующие различной температуре.

Погрешности в показаниях термометров вызываются следующими причинами: 1) не вполне строгой цилиндричностью капилляра, 2) неравномерным изменением объема жидкости при разных температурах, 3) неточностью разбивки шкалы, 4) старением стекла.

При поверке, определяются, так называемые поправки “при”, то есть поправки при значениях температуры кратных 5 или 10° С. От поправок “при” переходят к поправкам “от-до”, т.е. поправкам для определенных диапазонов температур, для которых поправка равна $\pm 0,1$; $\pm 0,2^\circ$ С и т.д.

Для определения поправок “от-до” строится график зависимости поправок “при” от температуры; по оси ординат откладываются поправки, по оси абсцисс - значения температуры.

Границы действия поправок “от-до”, отличающихся друг от друга на $0,1^{\circ}\text{C}$, определяют по тем точкам, где проведенные горизонтальные линии проходят через пограничные значения ординат, равные $\pm 0,05$; $\pm 0,15$; $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ и т.д.

Одна из основных погрешностей стеклянных термометров связана с постепенным уменьшением объема резервуара и капилляра из-за старения стекла, вследствие чего поправки постепенно меняются.

Так как изменение поправок определяется в основном уменьшением объема резервуара, то это изменение сводится к постепенному вытеснению ртути в капилляр, что равносильно постепенному опусканию вниз всей шкалы термометра. Поэтому поправки при различной температуре меняются практически на одинаковую величину, что позволяет при повторных поверках проверять термометры лишь при одной температуре (обычно при 0°C). Получив изменение поправок при этой температуре, на такую же величину изменяются поправки и при всех других значениях температуры.

Задание 2. Поверка точки нуля ртутных термометров.

1) Заполнить дождемерное ведро чистым снегом и, плотно укладывая, придать его верхней части форму конуса. При укладке поливать снег чистой водой, чтобы он начал слегка таять.

2) Установить образцовый и поверяемый термометры так, чтобы их точки нуля оказались у поверхности снега и, добавляя снег, обложить им термометры до деления шкалы 10°C .

3) Выдержать термометры около 30 минут и сделать отсчеты. Для этого, очистив их от снега с лицевой стороны так, чтобы было удобно отсчитать точку нуля, с помощью лупы произвести отсчеты с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$.

4) На основании данных поверки определить новые поправки исследуемого термометра при 0°C и соответственно исправить все поправки “при”.

5) С помощью новых поправок “при” определить новые поправки “от-до” графическим способом.

Контрольные вопросы:

1. Вследствие каких причин необходимо определять шкаловые поправки у жидкостных термометров?

2. Какие свойства спирта требуют введение дополнительной поправки в показания минимальных термометров?

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание способа поверки.
2. График поправок.
3. Новые поправки “от-до”.

3. ТЕПЛОВАЯ ИНЕРЦИЯ ТЕРМОМЕТРОВ

Термометр, помещенный в какую-либо среду, не сразу принимает температуру этой среды, а лишь по истечении времени, необходимого для окончания теплообмена между термометром и средой.

Поведение термометра в среде может быть описано дифференциальным уравнением

$$\frac{dT}{T - \Theta} = \frac{d\tau}{\lambda} \quad (3.1)$$

где T - температура термометра, Θ - температура среды, τ - время, λ - коэффициент тепловой инерции термометра.

Величина λ зависит от теплоемкости чувствительного элемента термометра, площади его соприкосновения со средой и коэффициента теплоотдачи поверхности чувствительного элемента в среду.

В случае постоянной температуры среды уравнение (3.1) приводится к виду

$$\frac{d(T - \Theta)}{T - \Theta} = \frac{d\tau}{\lambda} \quad (3.2)$$

Интегрируя по времени от 0 до τ и по температуре термометра от T_0 до T , получим

$$T = \Theta + (T_0 - \Theta) \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\lambda}\right) \quad (3.3)$$

Таким образом, если в начальный момент времени температура термометра отличалась от температуры среды, то далее она асимптотически приближается к ней. При этом, чем меньше λ , тем быстрее выравниваются температуры термометра и среды.

Чтобы получить $T = \Theta$, необходимо положить в (3.3) $\tau = \infty$. Это означает, что термометр в точности никогда не воспримет температуру среды и может показаться невозможным измерение температуры среды. Однако на практике измерения произ-

водятся всегда с определенной точностью, т.е. в момент отсчета разность температур термометра и среды не должна превосходить заданной точности измерений. Чем больше заданная точность, тем больше время выдержки термометра в среде. Время выдержки может быть рассчитано по (3.3), если известны T_0, Θ, λ и точность измерений $T - \Theta$

Физический смысл коэффициента λ и его численное значение определяется, если переписать формулу (3.3) в виде

$$\frac{T_0 - \Theta}{T - \Theta} = \exp\left(\frac{\tau}{\lambda}\right) \quad (3.4)$$

и положить в ней $\tau = \lambda$. Тогда

$$\frac{T_0 - \Theta}{T - \Theta} = e.$$

Таким образом, коэффициент тепловой инерции численно равен времени, в течение которого разность температур термометра и среды уменьшается в e раз (при неизменной температуре среды).

Задание 3. Определение коэффициентов тепловой инерции термометра в спокойном воздухе и в воде.

1) Нагреть термометр на 20°C выше комнатной температуры и подвесить в воздухе. Через каждые 15 секунд делать отсчеты по термометру до тех пор, пока начальная разность температур термометра и среды не уменьшится в 10 раз.

2) Провести аналогичный опыт, опуская термометр после нагревания в воду комнатной температуры. Отсчеты делать с интервалом в 1 секунду.

3) Результаты опытов нанести на график, по оси абсцисс которого отложено время, по оси ординат - соответствующая температура термометра. Комнатную температуру отметить прямой параллельной оси абсцисс. По наклону кривых к оси ординат можно судить о скорости выравнивания температур в различных средах.

4) По графикам определить время τ , в течение которого разность температур термометра и среды уменьшится в 2 раза. Рассчитать коэффициенты тепловой инерции в спокойном воздухе и воде по формуле

$$\lambda = \frac{\tau}{\ln 2} = \frac{\tau}{0,69},$$

которая может быть получена из уравнения (3.4), если положить в нем:

$$\frac{T_0 - \Theta}{T - \Theta} = 2 .$$

Время τ определить на двух разных участках кривой охлаждения термометра.

5) Вычислить по формуле (3.4) время необходимой выдержки термометра при измерениях температуры в спокойном воздухе и воде, используя полученные коэффициенты тепловой инерции. Начальную разность температур термометра и среды принять равной 10°C , конечную разность принять равной $0,1^{\circ}\text{C}$ (погрешность не должна превосходить заданной точности измерений).

Контрольные вопросы:

1. Что называют инерцией термометра и какова ее зависимость от состояния среды?

2. Зависит ли результат вычисления коэффициента инерции от величины начальной разности между температурами термометра и среды?

3. Какова зависимость коэффициента инерции от скорости ветра?

Отчет должен содержать:

1. Краткое изложение теоретических предпосылок.

2. Графики кривых охлаждения термометров.

3. Расчеты коэффициентов тепловой инерции и времени выдержки термометра в различных средах.

4. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ

В качестве первичного преобразователя в деформационных термометрах чаще всего применяют биметалл, представляющий собой две металлические пластинки, спаянные между собой по всей поверхности соприкосновения. Металлы, из которых изготовлены пластинки, имеют различные коэффициенты линейного расширения, поэтому при изменении температуры биметалл деформируется. При нагреве биметалл изогнется так, что пластинка с большим коэффициентом линейного расширения окажется с выпуклой стороны. При охлаждении биметалл изогнется в обратную сторону.

В большинстве случаев один конец биметалла закрепляют, а другой (свободный) конец с помощью системы рычагов кинематически соединяют со стрелкой или пером. При изменении температуры свободный конец биметалла перемещается, соответственно перемещается и указывающая стрелка по шкале или диаграммной ленте.

Под чувствительностью биметаллического термографа понимают величину смещения пера, соответствующую изменению температуры на 1°C. Смещение пера может выражаться в единицах, которые нанесены на ленте термографа - так называемые **номинальные градусы (град')**.

Для удобства обработки записи на ленте необходимо, чтобы чувствительность термографа, выраженная в град'/град, была равной $1 \pm 0,02$, т.е. чтобы деления на ленте максимально соответствовали бы своим значениям.

Регулировку производят изменением длины рабочей части регулируемого рычага: если чувствительность велика, то рабочую часть рычага удлиняют, если мала - укорачивают.

Задание 4. Регулировка биметаллического термографа.

1) Заправить чернилами перо термографа и, регулируя нажим пера на барабан, добиться четкости записи.

2) Измерить образцовым термометром температуру в комнате и поставить перо термографа на соответствующее деление ленты.

3) Поместить термограф и образцовый термометр в холодильную камеру. Через 30 минут измерить температуру термостата по образцовому термометру и одновременно легким поворотом барабана сделать отметку на ленте положения стрелки термографа.

4) Вычислить чувствительность по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta t'}{\Delta t} \quad (4.1)$$

где $\Delta t'$ - изменение показаний термографа, Δt - изменение показаний образцового термометра.

Если чувствительность отличается от единицы более, чем на 0,02, то необходимо изменить, соответственно, длину регулируемого рычага и повторить опыт снова.

Контрольные вопросы:

1. Можно ли рассматривать термобиметалл как преобразователь энергии?
2. Сравнить смещение свободного конца биметалла со смещением свободного конца однородной металлической пластины.
3. Каково назначение термографа?

Отчет должен содержать:

1. Результаты регулировки биметаллического термографа.

2. Ответы на контрольные вопросы.

5. ТЕРМОГРАФ

Термограф предназначен для непрерывной регистрации изменений температуры воздуха в течение суток или недели.

Принцип действия прибора основан на свойстве биметаллической пластинки изменять радиус изгиба при изменении температуры.

В средней части ленты нанесены три горизонтальные нулевые линии, позволяющие фиксировать температуру в зависимости от сезона года: от -25 до +55 °С; от -35 до +45 °С; от -45 до +35 °С. Деления выше нулевой линии соответствуют положительным температурам, ниже нулевой линии - отрицательным. Перо термографа можно установить на любую нулевую линию путем поворота винта регулировки. В верхней части термоленты с недельным ходом отмечены названия дней недели, а с суточным ходом – часы.

Обработка ленты термографа. Для корректировки показаний термографа на метеорологических станциях используются показания срочных термометров. В исследованиях лесных фитоценозов показания с термометров снимаются с большим промежутком времени, поэтому для корректировки показаний термографа могут быть использованы показания срочного, минимального и максимального термометров, которые устанавливаются на одном уровне с биметаллической пластикой термографа.

Наблюдатель в принятые сроки отсчитывает показания термометров и заносит их в специальный журнал или полевой дневник. Одновременно на ленте термографа делается отметка времени путем нажатия кнопки на задней стенке прибора (см. рис. 10). При нажатии кнопки поворачивается горизонтальная ось, на которой крепится стрелка с пером, и на ленте вырисовывается небольшая вертикальная черточка, отмечающая момент снятия показаний с прибора. По этим отметкам времени проводится обработка и корректировка температуры на лентах термографа.

Если часы спешат, то отметки будут расположены вправо от соответствующих дуг, если же часы отстают, то влево, причем на разных расстояниях.

Чтобы обработать записи термографа, то есть определить температуру воздуха для каждого дня и часа данного месяца и сезона, составляют журнал регистрации показаний термографа. Перед началом записи показаний в журнал проводят подготовку

лент термографа. На ленте указывают сверху числа месяца и под каждой отметкой подписывают час, в который она сделана. Затем согласно срокам постановки и снятия ленты по отметкам времени проводят корректировку времени на кривой хода температуры. Если лента на термограф была поставлена, верно, и часы шли правильно, то изменений вносить не приходится, так как время соответствует вертикальным кривым, нанесенным на ленте. После разметки лент приступают к снятию показаний.

С ленты термографа снимаются отсчеты за каждый час суток и записываются в журнал (первая строка). После этого в третьей строке проставляются показания срочного термометра, снятые в определенные часы данного числа. В графы с минимальной и максимальной температурами, определенными по термографу, записываются отсчеты с минимального и максимального термометров (при их наличии). Разница между показаниями термографа и термометров составляет поправку в определенные часы.

Если показания термографа ниже, чем термометра, то поправка будет положительная. Если показания термографа выше, чем термометра, то поправка будет отрицательная. Затем приступают к распределению поправки в остальные часы суток. Для этого берут две ближние поправки, из большей вычитают меньшую, разницу делят на число часов между ними и прибавляют один час. Полученное значение вычитают или прибавляют к каждой последующей поправке за каждый час. Если первая поправка больше, чем вторая, то производят вычитание, если первая поправка меньше второй, производят сложение. То есть в каждый последующий час после первой поправки температура будет меньше или больше на определенную найденную величину.

Задание 5. Обработка ленты термографа

1. Ознакомиться с устройством термографа
2. Провести обработку ленты термографа

Контрольные вопросы

1. Как устроен приемник температур в термографе?
2. Как определять правильность нажима пера на ленту?
3. С какой целью на ленте термографа делается отметка времени?
4. Зачем и как вносятся поправки в показания термографа?

6. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В металлических термометрах сопротивления в качестве термометрического свойства используется зависимость электрического сопротивления металлов от температуры. Сопротивление проводников с повышением температуры увеличивается. При изменении температуры в небольшом диапазоне сопротивление химически чистых металлов меняется практически линейно и с достаточной точностью может быть выражено уравнением:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (5.1)$$

где R_t – сопротивление при температуре $t^\circ \text{C}$, R_0 – сопротивление при температуре 0°C , α – температурный коэффициент сопротивления, зависящий от свойств металла.

Металлические проволочные термометры сопротивления применяются для измерения температуры почвы, воды и воздуха. Малоинерционные термометры изготавливают из тонкой платиновой или медной нити в виде спирали, укрепленной на пластмассовой основе. Нить диаметром 0,02-0,10 мм касается каркаса лишь в нескольких точках, вся остальная ее поверхность соприкасается с воздухом, температура которого измеряется.

В термометрах сопротивления с более прочной конструкцией металлическая нить намотана на слюдяной каркас, покрыта изоляционной пленкой и заключена в металлический кожух. Такой термометр обладает большой инерционностью и применяется, в основном, для измерения температуры почвы и воды.

Измерение сопротивления датчиков температуры производится с помощью электрических мостовых схем.

Задание 6. Градуировка металлического термометра сопротивления.

1) Термометр сопротивления и образцовый ртутный термометр поместить в сосуд Дьюара или термостат так, чтобы приемники были погружены в воду на одинаковую глубину и не касались дна и стенок сосуда.

2) Градуировку термометра следует начать с температуры 0°C . Для этого необходимо положить в сосуд кусочки чистого льда. При отсутствии льда градуировку можно начать с более высокой температуры воды.

3) Осторожно размешать деревянной мешалкой воду и, выждав несколько минут, записать показания ртутного термометра и термометра сопротивления.

4) Дальнейшую градуировку в таком же порядке провести до температуры 60°C с интервалом между измерениями 5°C . Для постепенного повышения температуры воды нужно или подогревать воду электронагревателем или доливать в сосуд горячую воду. После подогрева или долива воду необходимо перемешивать и выдерживать термометры при данной температуре не менее 5 минут.

5) Построить график градуировки. По оси ординат отложить температуру по образцовому термометру, по оси абсцисс – показания термометра сопротивления. Провести градуировочную прямую так, чтобы точки распределялись равномерно по обеим ее сторонам.

6) Используя график градуировки, измерить термометром сопротивления температуру воздуха в помещении.

Контрольные вопросы:

- 1) На каком принципе основано действие термометров сопротивления?
- 2) Что такое температурный коэффициент сопротивления?
- 3) Каковы преимущества и недостатки термометров сопротивления по сравнению с ртутными термометрами?

Отчет должен содержать:

1. Таблицу результатов градуировки.
2. График градуировки и результат измерения температуры воздуха.
3. Ответы на контрольные вопросы.

7. РАДИАЦИОННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Радиационные термометры (или пирометры) представляют собой неконтактные температурные датчики, действие которых основано на зависимости температуры от количества теплового электромагнитного излучения, полученного от

объекта измерения. Радиационные термометры очень широко используются в различных отраслях таких как медицина, строительство и т.д.

Принцип действия радиационных пирометров состоит в том, что поток теплового излучения, испускаемого раскаленным телом, улавливается и фокусируется на теплочувствительной части прибора, соединенной с термопарой. Для измерения величины электродвижущей силы, возбуждаемой в термопаре радиационного пирометра, пользуются или гальванометром, или потенциометром, которые должны быть градуированы в градусах по температуре излучения абсолютно черного тела.

Задание 7. Измерение радиационной температуры поверхности с помощью радиационного термометра, электротермометра, жидкостного термометра.

1. Ознакомиться с устройством радиационного термометра ИРТАФ-1
2. Установить датчики электротермометра АМ-29А и жидкостного термометра ТМ-3 на поверхность: воды, снега, деревянного покрытия (стол, пол).
3. По инструкции к прибору откалибровать радиационный термометр ИРТАФ-1.
4. Провести параллельные измерения температуры всеми приборами всех поверхностей.
5. Сравнить результаты.

Контрольные вопросы:

1. В чем различие радиационного термометра от электротермометра?
2. С чем могут быть связаны возможные ошибки при измерении радиационным термометром?

Отчет должен содержать:

1. Результаты наблюдений.
2. Анализ различий в показаниях приборов.

8. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПО МЕТОДУ ТОЧКИ РОСЫ

Известно, что для насыщенного водяного пара, т.е. пара, находящегося в равновесии с водой или льдом, имеет место взаимная компенсация между процессом конденсации и процессом испарения пара с поверхности воды или льда. При этом выполняется условие

$$e = E_{\tau} \quad (6.1)$$

где e – парциальное давление водяного пара, E_t – парциальное давление насыщенного пара, зависящая от температуры, фазового состояния и кривизны поверхности воды. Температура t называется температурой точки росы.

Соотношение (6.1) позволяет найти парциальное давление пара e , если измерена температура поверхности воды или льда, по отношению к которым пар находится в состоянии равновесия.

Равновесное состояние достигается путем изобарического охлаждения воды (льда), при котором парциальное давление пара e остается неизменной. Для этой цели в приборах используется металлическая зеркально полированная поверхность, на которой в результате охлаждения образуется тонкий слой конденсата в виде воды (льда). В процессе измерения путем регулирования температуры поверхности зеркала (а вместе с тем и температуры конденсата) добиваются такого состояния, при котором слой конденсата с течением времени остается неизменным, что и соответствует условию $e = E_t$.

Менее точным способом является такой, при котором температура точки росы измеряется в момент образования конденсата.

Наблюдение конденсата на зеркале удобно производить по методу темного поля, который заключается в том, что поверхность зеркала освещается светом, падающим под небольшим углом. При отсутствии конденсата свет зеркально отражается и зеркало кажется темным. Образование капель на зеркале сопровождается рассеянием им света, темное поле при этом заполняется вторичными источниками света (каплями или кристаллами льда) и светлеет. При $t < 0^\circ \text{C}$ необходимо определять фазу конденсата.

Приборы, основанные на методе точки росы, носят название конденсационных приборов.

Задание 8. Сравнение показаний лабораторного конденсационного гигрометра и стационарного психрометра.

- 1) Заполнить сосуд гигрометра эфиром и вставить термометр так, чтобы его резервуар был погружен в эфир и касался зеркальной стенки.
- 2) Прокачивая воздух через эфир с помощью груши, добиться появления конденсата на зеркальной стенке гигрометра, после чего прекратить охлаждение. Отсчитать тем-

температуру по термометру гигрометра; в дальнейшем этот отсчет принять за ориентировочное значение температуры точки росы.

3) Снова произвести охлаждение. Начиная с температуры на 2° выше ориентировочного значения точки росы, охлаждение вести медленно и плавно. В момент появления конденсата отсчитать температуру и прекратить охлаждение. Продолжая наблюдение, отсчитать температуру в момент исчезновения конденсата.

Измерить влажность с помощью психрометра.

Подобные измерения по конденсационному гигрометру произвести 5 раз подряд.

4) Вычислить среднее значение температуры точки росы, соответствующие моментам появления и исчезновения конденсата, а также среднее значение между ними.

5) Сравнить полученные величины с температурой точки росы, найденной по осредненным показаниям станционного психрометра.

Контрольные вопросы:

1. Зависит ли температура точки росы от фазового состояния конденсата на зеркальной стенке гигрометра?

2. Каковы основные источники ошибок в исследованном конденсационном гигрометре?

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание метода.

2. Результаты измерений и вычисленные характеристики влажности.

9. ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Метод основан на принципе сравнения температуры воздуха и температуры тела, с поверхности которого происходит испарение.

Психрометр состоит из двух одинаковых термометров. Резервуар одного из них обернут батистом, смачиваемый при производстве измерений дистиллированной водой. С поверхности резервуара смоченного термометра происходит испарение, на которое затрачивается тепло. Чем больше дефицит влажности, тем интенсивнее будет происходить испарение и, следовательно, тем ниже будет показание смоченного термометра относительно сухого термометра, показывающего температуру воздуха.

Основная рабочая формула психрометра имеет следующий вид:

$$e = E' - A \cdot P \cdot (t - t') \quad (7.1)$$

где e - парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе; E' - давление насыщенного водяного пара при температуре смоченного термометра; t – температура сухого термометра, t' - температура смоченного термометра; P - давление воздуха; A - психрометрический коэффициент.

Психрометрический коэффициент A зависит от формы и размеров резервуаров термометров, от способа обвязывания и смачивания батиста и от скорости воздушного потока, обтекающего резервуары термометров. Для аспирационного психрометра скорость вентиляции должна составлять 2 м/с.

Формула (7.1) справедлива лишь для установившегося состояния, т.е. для такого, когда отток тепла от резервуара смоченного термометра за счет испарения уравнивается притоком тепла из окружающей среды. В абсолютно спокойном воздухе температура для установившегося состояния есть величина постоянная. В реальных условиях эта температура, так же как и температура сухого термометра, всегда подвержена некоторым колебаниям, являющимся следствием турбулентного состояния воздуха.

Задание 9. Определение психрометрического коэффициента аспирационного психрометра.

1) Измерить давление воздуха P в лаборатории по anerоиду и парциальное давление водяного пара e по образцовому (станционному) психрометру.

2) Снять начальные показания термометров аспирационного психрометра. Осторожно, чтобы не погнуть лопасти вентилятора, вложить бумажную закладку в прорезь вентилятора для его торможения и завести пружину вентилятора до отказа. Смочить батист дистиллированной водой и, вынув бумажную закладку, произвести 30 пар параллельных отсчетов по сухому и смоченному термометрам. Отсчеты делать с точностью до $0,1^\circ \text{C}$, интервалы между отсчетами - 10 секунд.

3) Повторно измерить давление воздуха P и парциальное давление водяного пара e .

4) Построить график зависимости показаний термометров от времени и по нему определить промежуток времени, в течение которого удерживается установившееся состояние смоченного термометра. Для этого промежутка вычислить средние температуры смоченного и сухого термометров (t' и t).

5) Определить упругость насыщенного водяного пара E' при средней температуре t' аспирационного психрометра (по психрометрическим таблицам).

6) Вычислить психрометрический коэффициент A по уравнению (6.1). В качестве давления воздуха и парциального давления пара взять средние из отсчетов.

Контрольные вопросы:

1. Как и почему меняется температура смоченного термометра после смачивания?
2. Зависят ли от скорости воздушного потока показания психрометра?

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание психрометрического метода.
2. График изменений показаний термометров со временем.
3. Расчет психрометрического коэффициента.

10. ВОЛОСНЫЕ ГИГРОМЕТРЫ

Волосной гигрометр служит для определения относительной влажности воздуха в пределах от 30 до 100%. Гигрометр является относительным прибором. Для получения действительных значений относительной влажности в показания гигрометра необходимо вводить поправки, определяемые путем сравнения его показаний с показаниями стационарного психрометра.

Принцип работы гигрометра заключается в следующем. Человеческий волос пронизан многочисленными порами, заполненными жировыми веществами и пигментом. Если путем соответствующей обработки удалить эти вещества, то поры заполняются влагой с менисками вогнутой формы. Кривизна менисков воды такова, что давление насыщения над ними оказывается равной парциальному давлению водяного пара в воздухе. При изменении влажности воздуха меняется кривизна менисков, что влечет за собой изменение капиллярного давления. При уменьшении влажности мениски воды становятся более криволинейными, капиллярное давление уменьшается и поры стягиваются, вызывая общее уменьшение длины волоса. При увеличении влажности мениски выпрямляются, капиллярное давление увеличивается, поры расширяются и волос удлиняется.

Чувствительность волоса к изменению влажности уменьшается с увеличением относительной влажности и понижением температуры. При очень низкой отрица-

тельной температуре начинает постепенно замерзать вода в наиболее крупных порах и чувствительность волоса быстро уменьшается. Одновременно увеличивается инерция волоса.

В гигрографах уменьшение чувствительности волоса при высоких влажностях компенсируется увеличением реакции пера на деформацию волоса с помощью эллиптических рычагов - ведущего и ведомого. Точка соприкосновения этих рычагов при увеличении длины пучка волоса (т.е. при увеличении влажности воздуха) передвигается от оси вращения ведущего рычага к оси ведомого. В результате этого при высокой влажности, когда чувствительность волоса мала, реакция ведомого рычага на деформацию волоса, а, следовательно, и реакция пера на эту деформацию максимальны. При низкой влажности, когда деформация волоса под влиянием изменения влажности велика, реакция ведомого рычага на деформацию волоса минимальна.

В гигрографах кривизну рычагов подбирают таким образом, что уменьшение чувствительности волоса при высоких влажностях компенсируется увеличением реакции пера за счет применения эллиптических рычагов. Таким образом, в правильно отрегулированном гигрографе зависимость между изменением влажности и смещением пера оказывается практически линейной.

Задание 10. Исследование стационарного волосного гигрографа.

1) Ознакомиться с устройством прибора

2) Наложить ленту на барабан.

3) Установив перо на отметке 10%, определить рабочие длины эллиптических рычагов. Для этого необходимо измерить расстояния от точки касания рычагов до осей их вращения. Вычислить отношение рабочих длин ведущего рычага и ведомого.

4) Сделать аналогичные измерения, смещая перо на каждые 10% до отметки 100%.

Рассчитать отношение рабочих длин рычагов как функцию положения пера на ленте.

Контрольные вопросы:

1. Что является приемной частью гигрографа?
2. Почему не рекомендуется часто переводить стрелку гигрографа?
3. Назовите основные части гигрографа?
4. Как различают самописцы по времени оборота барабана?

5. Как изменяется длина обезжиренного волоса при изменении относительной влажности воздуха?
6. Как устроен волосной гигрограф?
7. Почему на ленте гигрографа деления равномерны в отличие от шкалы гигрометра?

Отчет должен содержать:

1. Результаты расчетов.
2. Ответы на контрольные вопросы.

11. РТУТНЫЕ БАРОМЕТРЫ

Атмосферное давление P равно давлению ртутного столба в барометрической трубке ртутного барометра:

$$P = H \cdot \rho \cdot g \quad (9.1)$$

где ρ - плотность ртути, g - ускорение силы тяжести, H – высота столба ртути.

Для простоты и удобства атмосферное давление характеризуют обычно высотой ртутного столба H . Однако, величины ρ и g не обладают полным постоянством; поэтому непосредственные отсчеты высоты столба ртути, произведенные при разных температурах и ускорениях силы тяжести, несравнимы между собой. Их нужно привести к стандартным условиям путем введения поправок.

При повышении температуры ртуть расширяется и высота ртутного столба оказывается завышенной по сравнению с измерениями при температуре 0°C , которая и принимается за нормальную температуру. Поправка на приведение столба ртути к 0°C рассчитывается по формуле

$$\Delta H_t = - H \cdot \alpha \cdot t \quad (9.2)$$

Где $\alpha = 1,63 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$ - разность между коэффициентами объемного расширения ртути и латуни, из которой изготавливается шкала барометра; t - температура барометра.

Как известно, ускорение силы тяжести имеет наибольшее значение на полюсах, наименьшее - у экватора. Кроме того, оно уменьшается с высотой. Для сравнимости наблюдений, произведенных на различных широтах и высотах над уровнем моря, в отсчеты вводят поправку на приведения столба ртути к нормальному ускорению силы

тяжести, которая является алгебраической суммой двух поправок: поправки на приведение столба ртути к широте 45°

$$\Delta H_{g(\varphi)} = -H \cdot \beta \cdot \cos 2\varphi \quad (9.3)$$

где φ - широта места измерения, $\beta = 2,65 \cdot 10^{-3}$.

И поправки на приведение столба ртути к уровню моря

$$\Delta H_{g(z)} = -H \cdot \gamma \cdot z, \quad (9.4)$$

где z - высота места наблюдения над уровнем моря, $\gamma = 1,96 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}$.

Кроме перечисленных поправок, к отсчету по ртутному барометру вводится также инструментальная поправка, которую находят путем сравнения данного прибора с эталоном и указывают в поверочном свидетельстве барометра.

Задание 11. Определение поправок ртутного чашечного барометра.

- 1) Ознакомиться с устройством чашечного барометра.
- 2) Произвести отсчет по барометру:
 - а) сделать отсчет по термометру при барометре с точностью до $0,1^\circ \text{ C}$;
 - б) слегка постучать по верхней части корпуса для того, чтобы мениск ртути принял выпуклую форму;
 - в) установить глаз на уровне вершины мениска и, вращая винт, опустить кольцо с нониусом до касания его нижнего среза с вершиной мениска, при этом по краям должны оставаться просветы;
 - г) произвести отсчет целых делений по шкале и десятых долей по нониусу.
- 3) Вычислить поправки по формулам (9.2) - (9.4), при $\varphi = 55,8^\circ$, $z = 80 \text{ м}$.
- 4) Ввести все поправки в отсчет и определить истинное значение атмосферного давления.

Контрольные вопросы:

1. Почему барометры наполняются ртутью?
2. Что такое компенсированная шкала?
3. Для чего показания барометра приводятся к температуре 0° и широте 45° ?

Отчет должен содержать:

1. Обработку отсчета атмосферного давления по указанной схеме.
2. Ответы на контрольные вопросы.

12. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ БАРОМЕТРЫ

В деформационных барометрах чувствительными элементами являются изготовленные из упругого металла манометрические трубки или барокоробки (анероидные коробки), из которых откачан воздух.

Манометрическая трубка имеет эллиптическое сечение и изогнута по дуге окружности или по спирали. При изменении внешнего давления трубка меняет свою кривизну: при увеличении давления трубка скручивается, при уменьшении - разгибается.

Барокоробка изготавливается из двух, спаянных по периметру, круглых гофрированных металлических пластин (мембран), которые прогибаются внутрь при увеличении внешнего давления и в обратную сторону при его уменьшении. Таким образом, мерой изменения давления атмосферного воздуха служит изменение высоты барокоробки.

Основные источники ошибок деформационных чувствительных элементов связаны с наличием зависимости их упругих свойств от температуры и с явлениями упругого последствия и упругого гистерезиса.

К отсчетам по anerоиду вводятся три поправки: шкаловая, температурная и добавочная.

Шкаловая поправка обусловлена инструментальными неточностями при изготовлении данного прибора. В целях выявления шкаловых поправок anerоид сравнивается при различном давлении с образцовым ртутным манометром. Результаты проверки указываются в поверочном свидетельстве.

При изменении температуры anerоида его показания меняются вследствие изменения упругости мембран барокоробки. При повышении температуры их упругость уменьшается, барокоробка сдавливается сильнее, что приводит к завышенным показаниям anerоида. При понижении температуры, наоборот, показания anerоида занижаются.

Для компенсации температурных влияний в anerоиде применяют биметаллическую или газовую компенсацию. Газовая компенсация заключается в том, что в барокоробке оставляют некоторое количество газа. При повышении температуры уменьшение упругости металла барокоробки будет в значительной степени скомпенсировано увеличением упругости газа, заключенного в коробке. Однако добиться полной

компенсации практически не удастся, поэтому в показания анероида вводят температурную поправку.

В паспорте прибора дается температурный коэффициент α , обозначающий изменение показаний анероида при изменении его температуры на 1° . Величина температурной поправки для приведения показаний анероида к 0° равна $\alpha \cdot t$, где t - температура прибора.

Добавочная поправка обусловлена постоянным изменением внутренней структуры металла коробки и пружины, следствием чего является изменение их упругости. Добавочная поправка меняется со временем; поэтому анероиды периодически проверяют путем сравнения с образцовым ртутным барометром для нахождения новой добавочной поправки.

Задание 12. Определение температурного коэффициента анероида.

1) При комнатной температуре сделать отсчеты по анероиду (N_1), по образцовому ртутному барометру (P_1) и термометру при нем (t_1).

2) Поместить анероид и образцовый термометр в холодильную камеру и выдержать 30 минут.

3) По истечении времени выдержки сделать отсчеты по анероиду (N_2), образцовому ртутному барометру (P_2) и термометру (t_2).

Выдержка анероида достаточна если разность показаний термометра при анероиде и образцового термометра не превышает $1,5^\circ$.

4) Рассчитать температурный коэффициент анероида

$$\alpha = \frac{(P_2 - N_2) - (P_1 - N_1)}{t_2 - t_1} \quad \text{гПа / град.} \quad (10.1)$$

Величина температурного коэффициента не должна превышать $0,13$ гПа / град.

Контрольные вопросы:

1. Почему температура оказывает влияние на положение указательной стрелки анероида?

2. Какие средства применяются для уменьшения температурного коэффициента анероида?

Отчет должен содержать:

1. Обработку данных наблюдений.
2. Вычисленное значение температурного коэффициента.
3. Ответы на контрольные вопросы.

13. РОТОАНЕМОМЕТРЫ

Чувствительным элементом в ротоанемометрах служат лопасти, выполненные либо в виде винта, либо в виде чашек, близких по форме к полусферам или к полуцилиндрам.

Давление потока на вертушку создает момент аэродинамических сил, заставляющих ее вращаться со скоростью, которая для данной вертушки в случае достаточно ламинарного потока зависит от скорости потока.

Зависимость угловой скорости вращения вертушки от скорости потока может быть представлена в виде уравнения

$$v = a + b\omega + c\omega^2 \quad (11.1)$$

где v - скорость потока, ω - угловая скорость вертушки, a , b , c - константы анемометра. Константа a равна минимальной скорости потока, при которой вертушка начинает вращаться; при $v \leq a$ вертушка не вращается. Величину $v = a$ называют порогом скорости или начальной чувствительностью анемометра.

Обычно $b \ll c$, поэтому можно аппроксимировать зависимость угловой скорости вращения вертушки от скорости потока прямой линией

$$v = a + b\omega$$

Анемометры с механическим счетчиком применяются для определения средней скорости ветра за некоторый промежуток времени. Они обладают сравнительно большой чувствительностью и являются довольно точными приборами при измерении скорости от 1 до 20 м/сек.

Скорость вращения вертушки зависит не только от скорости ветра, но и от трения оси вертушки в подшипниках. Величина трения со временем меняется. Соответственно меняется и соотношение между числом делений в секунду на счетчике анемометра и скоростью ветра, которое указано в поверочном свидетельстве. Поэтому анемометры с механическим счетчиком должны проверяться как можно чаще.

Задание 13. Поверка анемометра с механическим счетчиком.

- 1) Ознакомиться с установкой для поверки ручных анемометров УПАР-01.

2) Поместить вертушку поверяемого анемометра в рабочую часть трубы, повернув анемометр циферблатом к поверителю.

3) Постепенно увеличивая напряжение тока с помощью автотрансформатора, произвести поверку анемометра в потоках воздуха с различной скоростью от 1 до 15 м/с. Точки поверки указаны на автотрансформаторе.

4) На каждой из этих точек произвести синхронное измерение скорости воздушного потока с помощью счетчика установки УПАР и счетчика поверяемого анемометра. Счетчики должны работать при каждой скорости потока точно 100 секунд.

5) По отсчетам анемометров на каждой точке поверки вычислить число делений счетчиков за одну секунду. По поверочному свидетельству установки УПАР определить скорость потока в каждой точке.

6) Построить график градуировки. По горизонтальной оси отложить скорость потока, по вертикальной - показания счетчика поверяемого анемометра в каждой точке.

Линию градуировки проводят плавно и так, чтобы точки распределялись равномерно по обеим ее сторонам. Обычно градуировочная линия имеет вид прямой.

7) По графику определить порог чувствительности анемометра.

8) Сделать заключение о годности прибора. Годным считаются анемометры, у которых отклонение точек от градуировочной кривой при скорости 1-5 м/с не превышает 0,05 м/с, при скорости свыше 5 м/с не превышают 0,1 м/с, порог чувствительности не более 0,8 м/с.

Контрольные вопросы:

1. Какая скорость измеряется с помощью анемометра с механическим счетчиком: мгновенная или осредненная?

2. Проходит ли градуировочная кривая ручного анемометра через начало координат? Почему?

3. Что такое порог чувствительности анемометра и как его определить по градуировочному графику?

Отчет должен содержать:

1. Краткое содержание метода поверки ручных анемометров и установки УПАР.

2. Протоколы поверки анемометра.

3. Градуировочный график с заключением о годности анемометра.

14. АНЕМОРУМБОМЕТРЫ

Анеморумбометры предназначены для дистанционного измерения скорости и направления ветра. Для передачи показаний датчиков на расстояние применяются различные электрические дистанционные передачи. Работа анеморумбометров основана на зависимости между скоростью ветра и положением свободно ориентирующейся флюгарки.

В анеморумбометре скорость и направление ветра представляются в виде серии импульсов напряжения, последующее преобразование которых позволяет определить значение измеряемых прибором величин. Прибор позволяет определить среднюю, мгновенную и максимальную скорость ветра.

Значение средней скорости вырабатывается путем подсчета числа импульсов опорной группы за интервал осреднения (2 или 10 мин.). Значение мгновенной скорости вырабатывается преобразованием импульсов основной группы.

Максимальная скорость определяется как максимальное значение мгновенной скорости за время измерения.

Значение направления ветра вырабатывается путем определения разности фаз групп импульсов основная-опорная при измерении по шкале 0-360° или групп импульсов сдвинутая-опорная при измерении по шкале 180-0-180°.

Датчик анеморумбометра представляет собой анемометр с воздушным винтом и горизонтальной осью вращения, который устанавливается в потоке воздуха объемной флюгаркой.

Измерительный пульт представляет собой настольный прибор, на лицевой панели которого расположены цифровые указатели направления ветра, мгновенной, максимальной и средней скорости. Световые индикаторы указывают на работу соответствующей измерительной цепи.

Задание 14. Определение рассогласованности указателя направления с флюгаркой.

1) Датчик ветра установить на планшет так, чтобы стержень-ориентир был направлен на “север” по шкале планшета.

2) С помощью отвеса совместить ось винта со стрелкой, закрепленной на корпусе флюгарки. Конец стрелки должен быть в 2-3 мм от плоскости шкалы планшета.

3) Поворачивая флюгарку по часовой стрелке, через каждые 45° по планшету, начиная с положения “север”, произвести отсчеты показаний указателя направления.

4) Аналогично произвести отсчеты, поворачивая флюгарку против часовой стрелки.

5) Вычислить разности между положением флюгарки по шкале планшета и показанием указателя направления. Максимальное расхождение не должно быть более 5° .

Контрольные вопросы:

1. Для чего в анеморумбометре указатель направления ветра имеет две шкалы?
2. Можно ли определить направление ветра по анеморумбометру в случае неисправности блока скорости ветра?

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание принципа работы анеморумбометра.
2. Результаты поверки указателя направления ветра.

15. ИЗМЕРЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

На гидрометеорологических станциях применяется термоэлектрический метод измерения радиационных потоков. Измеряемая радиация поглощается черной приемной поверхностью прибора, превращается в тепло и нагревает активные спаи термобатарей, тогда как пассивные спаи не нагреваются радиацией и имеют более низкую температуру.

Вследствие различия температур активных и пассивных спаев на выводах термобатарей возникает термоэлектродвижущая сила ε , пропорциональная разности температур, которая в свою очередь, пропорциональна действующей на приемник интенсивности радиации I :

$$\varepsilon = k \cdot I \quad (13.1)$$

где k - чувствительность приемника радиации и выражается в В/Дж/м²·с.

При измерениях интенсивности радиации приборы присоединяются к гальванометру, которым измеряется сила тока i , возникающего в цепи прибора под действием термо-ЭДС. По закону Ома

$$i = \frac{\varepsilon}{R} \quad (13.2)$$

где R - общее сопротивление цепи, равное сумме сопротивлений термобатареи R_6 и гальванометра R_g .

Под действием тока i стрелка гальванометра отклоняется на число делений N , так что

$$i = c \cdot N \quad (13.3)$$

где c - цена деления гальванометра.

Из соотношений (12.1) - (12.3) следует

$$I = \frac{c \cdot R \cdot N}{k} = a \cdot N \quad (13.4)$$

Величина $a = \frac{c \cdot R}{k}$ называется переводным множителем пары приемник-гальванометр. Так как величина c , k , R_6 и R_g указываются в поверочных свидетельствах приборов, то величину a можно было бы вычислить.

Однако в процессе эксплуатации приборов их характеристики могут изменяться, особенно чувствительность приемника k в результате старения красящих покрытий приемных поверхностей приборов. Для контроля постоянства величин k и a они определяются систематически путем сравнения с показаниями контрольного прибора, поверенного по эталонному прибору-пиргелиометру.

Задание 15. Определение переводного множителя термоэлектрического актинометра.

- 1) Ознакомиться с установкой для поверки актинометра в лабораторных условиях.
- 2) Установить на монтажный столик образцовый и поверяемый актинометры и подключить их к гальванометру.
- 3) Установить в центр столика образцовый актинометр, закрыть его крышкой и через 30 секунд отсчитать место нуля гальванометра.
- 4) Снять крышку и через 30 секунд произвести три отсчета по гальванометру. Промежутки между отсчетами должны быть не менее 30 секунд.
Закрыть крышку и повторно отсчитать место нуля.
- 5) Установить в центр столика поверяемый актинометр и произвести определение места нуля и отсчеты согласно пунктам 3) и 4).
- 6) Снова поместить в центр столика образцовый актинометр и повторить пункты 3) и 4).

7) Найти средние значения из каждых трех отсчетов по гальванометрам, средние исправить шкаловыми поправками и вычесть из них среднее место нуля гальванометров.

8) Вычислить значение радиации I ; для этого исправленные средние отсчеты образцового актинометра умножают на его переводный множитель. Из двух значений I вычислить среднее $I_{\text{ср}}$.

9) Вычислить переводный множитель поверяемого актинометра; для этого среднее значение радиации $I_{\text{ср}}$ поделить на средний исправленный отсчет поверяемого актинометра $N_{\text{ср}}$.

Контрольные вопросы:

1. Что такое переводный множитель термоэлектрического актинометра и от чего зависит его величина?
2. Что является приемником термоэлектрического актинометра?
3. От каких факторов зависит величина интенсивности прямой солнечной радиации?

Отчет должен содержать:

1. Краткое изложение термоэлектрического метода измерения радиационных потоков.
2. Запись результатов поверки актинометра.
1. Расчет переводного множителя для поверяемого актинометра в паре с гальванометром.

16. БАЛАНСОМЕР ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ

Балансомер термоэлектрический предназначен для определения интенсивности радиационного баланса земной поверхности.

Приемными поверхностями балансомера служат две одинаковые пластины из медной фольги, наружные поверхности которых зачернены. К внутренним поверхностям пластинок приклеена термобатарея, к концам которой припаяны соединительные провода для соединения с гальванометром. Провода выведены через рукоятку балансомера.

При наблюдениях балансомер устанавливается на высоте около 1,5 м над поверхностью земли так, чтобы приемные поверхности располагались горизонтально.

Верхняя пластинка поглощает падающую на нее прямую и рассеянную солнечную радиацию и длинноволновую радиацию атмосферы, т.е. то, что получает земная поверхность. Нижняя пластинка поглощает длинноволновое излучение земли и отраженную от земли коротковолновую радиацию, т.е. то, что теряет земная поверхность. Каждая пластина сама излучает длинноволновую радиацию и, кроме того, обменивается теплом с окружающим воздухом и корпусом прибора. В результате между верхней и нижней пластинками устанавливается разность температур и в термобатарее возникает термоток, сила которого измеряется гальванометром. Сила термотока пропорциональна разности интенсивностей потоков радиации, идущих сверху и снизу, т.е. радиационному балансу поверхности, над которой расположен балансомер:

$$B = \left(\frac{a}{\delta} + \frac{2b}{S\delta} + 4T^3 \delta \right) \frac{iR}{en} \quad (14.1)$$

где B – радиационный баланс; a - коэффициент теплообмена пластинок с воздухом; b - коэффициент теплопередачи между пластинками внутри прибора; δ - коэффициент поглощения пластинок; T - средняя температура пластинок; S - площадь поверхности пластинок; i - сила термотока; R - сопротивление цепи; e - табличная термо-ЭДС; n - количество термопар.

Показания балансомера зависят от скорости ветра, т.к. от скорости ветра зависит коэффициент теплообмена пластинок с воздухом a . Для ламинарного потока коэффициент теплообмена пропорционален корню квадратному из скорости потока, обдувающего пластинки; для естественных условий он сильно зависит от турбулентности воздушного потока. Защитить пластинки балансомера от действия ветра достаточно надежно не удастся. Поэтому показания балансомера при ветре исправляют введением поправочных множителей, которые определяются при проверке балансомера.

Задание 16. Исследование влияния ветра на показания балансомера.

1) Установить балансомер горизонтально и подсоединить его к гальванометру. Отметить нулевое положение стрелки гальванометра (N_0).

2) Осветить верхнюю пластинку балансомера лампой. Желательно, чтобы отклонение стрелки гальванометра достигло при этом предела шкалы. Сделать отсчет положения стрелки (N).

3) Включить вентилятор через трансформатор и, постепенно увеличивая скорость воздушного потока, повторить измерения 5-6 раз. После каждого отсчета показаний гальванометра необходимо определять скорость воздушного потока v , при которой был сделан отсчет. Для этого временно на то место, где находился балансомер, установить анемометр и измерить среднюю скорость воздушного потока за 100 секунд.

4) Рассчитать для различных скоростей поправочный множитель:

$$\Phi_v = (N - N_0)_v / (N - N_0)_{v=0} \quad (14.2)$$

и построить график зависимости Φ_v от скорости потока v .

Контрольные вопросы:

1. Как и почему ветер влияет на показания балансомера?
2. Как учитывается влияние ветра при измерении радиационного баланса?

Отчет должен содержать:

1. Результаты наблюдений и расчетов.
2. График ветровых поправок, построенный по результатам опытов.

17. СНЕГОМЕР ВЕСОВОЙ

Снегомерные наблюдения включают в себя измерение высоты снежного покрова, плотности снега, определение запасов воды в нём, регистрацию наличия и толщины ледяной корки, а также слоя воды на почве, состояния поверхности почвы (таяя или мёрзлая), определение степени покрытия поверхности почвы снежным покровом и характера его залегания. Эти сведения представляют большой интерес для ряда отраслей народного хозяйства. Высоту снежного покрова измеряют с помощью переносных реек: М-104 и М-46. Первая изготавливается из дерева в двух вариантах длины: М-104-1 - 180 см и М-104-П - 130 см. Вторая металлическая: М-46-1 - 150 см и М-46-П - 250 см. Плотность покрова определяют с помощью весового снегомера, запас воды в снеге - по данным плотности и высоты снежного покрова, толщину ледяной корки - с помощью линейки с миллиметровыми делениями. Остальные наблюдения за снежным покровом производят визуально.

Различают следующие основные виды наблюдений за снежным покровом: ежедневные, ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки, специальные снегомерные съемки.

Наблюдения за степенью покрытия поверхности почвы, характером залегания и высотой снежного покрова на станции проводят с момента образований и до полного исчезновения снежного покрова.

Снегомерные съёмки в поле производят тогда, когда снегом покрыто не менее $1/2$ видимой окрестности и не менее половины площади участка снегосъёмки. Степень покрытия определяется ежедневно в утренние часы и оценивается по 10-балльной системе (0,1 площади видимой окрестности соответствует одному баллу; если наблюдаются лишь небольшие пятна, покрывающие менее 0,1 поверхности, то ставится 0 баллов). Ежедневно оценивается также характер залегания снежного покрова: равномерный (без сугробов), умеренно равномерный (небольшие сугробы), очень неравномерный (большие сугробы), снег лежит только местами.

Высота покрова измеряется ежедневно в утренние часы по трем постоянным снегомерным рейкам М-103 на метеорологической площадке. Рейки устанавливаются в середине площадки, в вершинах треугольника со сторонами около 10 м и одна у почвенно-глубинных термометров (на постах вблизи осадкомера).

Высоте снежного покрова вычисляется как среднее арифметическое отсчетов по трем рейкам.

Постоянные снегомерные рейки устанавливаются на метеорологической площадке осенью до образования снежного покрова.

После выпадения снега постоянную рейку устанавливать нельзя, так как при этом нарушается снежный покров и дальнейшее его залегание происходит неправильно.

Назначение и устройство снегомера ВС-43. Походный весовой снегомер ВС-43 предназначен для определения плотности снега. Зная плотность снега, можно легко рассчитать запас воды на единицу площади.

Снегомер состоит из цилиндра высотой 60 см с площадью поперечного сечения 50 см^2 . Нижний край заточен, верхний край закрыт крышкой. На боковой поверхности цилиндра нанесены сантиметровые деления. Нулевое деление совпадает с нижней заточенной кромкой. На цилиндре имеется подвижное кольцо с дужкой, за которую

цилиндр можно подвесить на плечо безмена (весов). Если на безмен подвешен цилиндр без снега, то при равновесии штрих на подвижном грузе будет расположен против нулевого деления. Если же в цилиндре имеется снег, то для достижения равновесия передвигаемый груз следует переместить на несколько делений. Каждое деление на линейке соответствует 5 г. Если при достижении равновесия штрих на передвигаемом грузе находится против деления 15, это означает, что масса снега, имеющегося в цилиндре, равна $5 \cdot 15 = 75$ г.

Обработка результатов измерений.

Определение плотности снега. Разделив массу снега P на его объём

V , получают плотность снега, г/см³:

$$g = \frac{P}{V}$$

Объём снега, находящегося в цилиндре, $V = 50H$ (50 - площадь сечения цилиндра, см²; H - высота снежного покрова, см).

Масса взятой пробы снега $P = 5A$ (5 - цена наименьшего деления, г; A - число наименьших делений, отсчитанных при взвешивании снега). Поэтому можно записать

$$g = \frac{5A}{50H} = \frac{A}{10H}$$

Например, мощность снежного покрова равна 45 см, показание безмена при взвешивании пробы равно 96 малых делений, следовательно,

$$g = \frac{96}{10 \cdot 45} = 0.21 \text{ г/см}^3$$

(Плотность снега вычисляют с точностью до сотых долей)

Определение толщины слоя воды. По показаниям весового снегомера определяют в граммах массу воды, которая получится, если вся взятая проба снега растает; объём воды выражается в кубических сантиметрах. Если масса пробы $5A$, значит, на каждые 50 см² земной поверхности (сечение цилиндра) приходится $5A$ см³ воды. Разделив полученный объём воды на занимаемую площадь и, умножив результат на 10, получим высоту слоя вода в миллиметрах:

$$\frac{5A}{50} 10 = A$$

Следовательно, деление, которое мы отсчитываем, на весах, показывает высоту слоя воды, образующегося при полном таянии снега.

Расчет запасов воды. Если на каждые 50 см² приходится 5А граммов воды, то на 1 га (1 га = 100000000 см²) придется 10000000 А граммов, или 10А тонн воды.

Задание 17. Определение плотности снега и запасов воды

1. Освоить методику проводимых наблюдений.
2. Ознакомиться с устройством весового снегомера.
3. В отчете о работе привести схему прибора.
4. На двух сравниваемых объектах в трехкратной повторности определить высоту (Н), плотность снежного покрова (q), и рассчитать запас воды (Q_с), а также определить толщину слоя воды, который образовался бы, если произошло таяние снежного покрова. Результаты исследований занести в карточку учета экспериментальных данных (прил.6).
5. Обработать полученные данные и на их основе сделать заключение.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. По какой формуле определяется плотность снега?
2. Как устроен весовой снегомер?
3. Как по показаниям весового снегомера определить количество воды в тоннах на 1 га, высоту слоя воды в миллиметрах?
4. Почему при морозах снегомер следует охладить, а затем только приступить к измерениям?
5. Как следует поступить, если высота снежного покрова превышает высоту цилиндра снегомера?

18. ДЕСАНТНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКТЫ

Комплекты десантные метеорологические (ДМК) предназначены для автоматических измерений метеорологических параметров: температуры воздуха, температуры воды, температуры почвы, относительной влажности воздуха, скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления.

Комплекты ДМК-01 состоят из первичных измерительных преобразователей метеорологических параметров (далее датчики), вторичных преобразователей измерительных, линий связи и центральной системы.

Конструктивно комплекты ДМК-01 выполнены в виде переносного контейнера, который состоит из передней крышки с измерительным блоком и задней крышки с монтажным комплектом. В развернутом виде комплект ДМК-01 представлен на рис.1.

Измерительный блок состоит из блока датчиков (БД) и блока цифрового (БЦ).

БД объединяет датчик скорости и направления ветра (ДИВ), датчик температуры и влажности воздуха (ДТВ) и преобразователь измерительный, которые крепятся в верхней части метеорологической мачты при помощи фланца и фиксируется винтом с ориентацией на «север». В БД измеряются метеорологические параметры, которые поступают в преобразователь измерительный и после преобразования по линиям связи передаются в БЦ для обработки.

Задание 18. Измерение метеовеличин с помощью десантного метеокомплекта ДМК-1

1. Ознакомиться с устройством ДМК-1, развернуть установку метеокомплекта.
2. Используя ДМК-01 провести измерения атмосферного давления, температуры воздуха, влажности воздуха, скорости и направления ветра, дальности воздуха
3. Синхронно с п.2. провести измерения соответствующих величин с помощью барометра-анероида, аспирационного психрометра.
4. Сравнить полученные результаты измерений.

Контрольные вопросы:

1. С чем могут быть связаны возможные расхождения в измерениях с помощью ДМК и психрометра, барометра?
2. Какие первичные измерительные преобразователи входят в состав ДМК?

Отчет должен содержать:

1. Результаты наблюдений.
2. Анализ различий в показаниях приборов.

19. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Дистанционные метеорологические станции (ДМС) предназначены для оперативного измерения на расстоянии скорости и направления ветра, атмосферного дав-

ления, температуры и влажности воздуха. ДМС преобразовывает измеряемые значения метеорологических величин в электрические сигналы. Предельное расстояние между датчиками и измерительным устройством в случае применения стандартного кабеля составляет несколько сот метров. В противном случае слишком большое сопротивление проводов будет понижать точность измерений.

В ДМС датчиком температуры воздуха является медный термометр сопротивления, защищенный от солнечной радиации кожухом, а относительной влажности – мембрана из синтетической пленки в виде конуса, которая по краям жестко закреплена в металлической оправе. При уменьшении влажности воздуха пленка сокращается и, соответственно, уменьшается высота конуса, при повышении влажности, наоборот. Вершина конуса связана со стрелкой указателя и с преобразователем для дистанционного измерения влажности. Термометр и гигрометр размещены в одном блоке. Скорость ветра измеряется индукционным анемометром, восьмиллопастная вертушка которого ориентируется навстречу потоку флюгаркой. Вращение вертушки передается на ось с магнитом и возбуждает в окружающих ее катушках переменный электрический ток. Выходная сила электрического тока пропорциональна скорости вращения вертушки и измеряется микроамперметром в измерительном устройстве. Направление ветра фиксируется положением флюгарки на азимутальном круге. Для ориентировки флюгарки служит штырь, который должен быть направлен на север.

Измерительное устройство – указатели метеорологических параметров смонтировано в едином настольном футляре, на передней панели которого расположены совмещенный указатель скорости ветра и температуры и совмещенный указатель направления ветра и относительной влажности.

Задание 19. Поверка ДМС.

Поверка ДМС включает в себя внешний осмотр и последовательную работу с узлами скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха.

1) Поверка узла скорости ветра производится без включения электропитания станции, т.к. вращающаяся вертушка сама вырабатывает индукционный ток. Если поверка производится в лаборатории, то ветер создается мощным вентилятором. Для поверки датчика скорости два наблюдателя в течение 100 с одновременно измеряют скорость ветра: один производит 10 отсчетов по указателю ДМС и вычисляет среднюю скорость, другой измеряет скорость ветра ручным анемометром. Такие одновре-

менные измерения провести 3-5 раз при различных скоростях ветра. Составить график соотношения скоростей ветра, измеренных ДМС и анемометром.

2) Для поверки узла направления ветра необходимо определить по компасу направление на север и повернуть основание датчика ветра так, чтобы ориентир (горизонтальный стержень) показывал строго на север. На ось флюгарки установить отвес и, совместив ее с ориентиром в одной вертикальной плоскости, сделать отсчет по указателю направления. Используя лимб с градусными делениями, повернуть флюгарку последовательно на 30, 60, 90 и т.д. градусов до возврата к меридиональному положению, делая отсчеты по указателю направления при каждом повороте.

В исправном приборе стрелка указателя направления ветра должна поворачиваться синхронно с датчиком ветра, погрешность передачи направления не должна превышать 6 градусов.

3) Для поверки узлов температуры и влажности необходимо включить ДМС в сеть. Переключатель питания поставить в положение «Питание от сети», а переключатель шкал – в положение «Контроль температуры». Поворачивая рукоятку, установить стрелку указателя температуры на красную отметку шкалы. В положении переключателя температуры в диапазоне от -5 до $+45$ градусов, выдержав не менее 5 мин., сделать 3 отсчета температуры воздуха (с интервалом 20 с) и найти среднее значение. Одновременно с этим по сухому термометру аспирационного психрометра сделать 3 отсчета и найти среднее значение температуры воздуха. Сравнить показания температуры по ДМС и аспирационному психрометру: погрешность не должна превышать 0,8 градусов.

4) Переключатель поставить в положение «Влажность», сделать 3 отсчета влажности воздуха (с интервалом 20 с) и вычислить среднее значение. По аспирационному психрометру сделать 3 отсчета (с интервалом 20 с), по психрометрическим таблицам определить относительную влажность воздуха и сравнить с показаниями ДМС: погрешность не должна превышать 5 %

Контрольные вопросы:

1. Устройство узлов измерений температуры, влажности, скорости и направления ветра в ДМС.

2. Каковы преимущества и недостатки метеорологических измерений с помощью ДМС?

3. Какова длина кабеля, соединяющего датчики с измерительным пультом, и почему ее лимитируют?

Отчет должен содержать:

1. Результаты поверки всех измерительных узлов ДМС в виде таблиц и сравнения их с допусками.
2. Ответы на контрольные вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капустин А.В., Старожук Н.Л. Технические средства гидрометеорологической службы. - СПб.: Кометех, 2005. - 283 с.
2. Тудрий В.Д., Исмагилов Н.В. Методы и средства гидрометеорологических измерений. - Казань: Казан. ун-т, 2011. - 296 с.